



## Diseño de Hormigón Permeable Para el Aprovechamiento de Agua Lluvia en Superficies de Uso Peatonal

By Ing. Juan Carlos Moya H., Ing. Jaime Gutiérrez P.,  
Srita. María Belén Marroquín & Srita. Jéssica Trejo

**Abstract-** In recent years we have seen the need to develop new methods or construction techniques that reduce the impact on our environment, for this reason there is a constant search for organic products or at least sustainable alternatives. Among the developments of sustainable construction is permeable concrete, which allows the management of rainwater, the same that infiltrates through this concrete. Therefore, in the present investigation, we seek to focus on the design of a permeable transport system that provides water and that is not lost at the same time or to the water source. Drinking water, favoring the responsible management of the resource. Permeable concrete, being a non-structural concrete, has low resistance to compression, however, the study complies with the necessary conditions to be used in pedestrian traffic zones with resistances that vary between 14 MPa and 18 MPa, giving priority to the use of rainwater, thus reducing the water demand of this limited natural resource worldwide.

**Keywords:** permeable concrete (Pc)/water demand/water rain (Wr)/cement water relationship (W/C).

**GJRE-E Classification:** DDC Code: 615.19 LCC Code: RS420



Strictly as per the compliance and regulations of:



RESEARCH | DIVERSITY | ETHICS

# Diseño de Hormigón Permeable Para el Aprovechamiento de Agua Lluvia en Superficies de Uso Peatonal

Ing. Juan Carlos Moya H.<sup>a</sup>, Ing. Jaime Gutiérrez P.<sup>a</sup>, Sra. María Belén Marroquín<sup>b</sup> & Sra. Jéssica Trejo<sup>c</sup>

**Resumen-** En los últimos años se ha visto la necesidad de desarrollar nuevos métodos o técnicas de construcción que reduzcan el impacto ambiental que contamina nuestro ambiente, por tal motivo existe una búsqueda constante de utilizar materiales ecológicos o por lo menos alternativas sostenibles. Entre los desarrollos de la construcción sostenible se encuentra el hormigón permeable, que permite el manejo del agua lluvia, la misma que se infiltra a través de este hormigón. Por lo cual la presente investigación busca enfocarse en realizar el diseño de un hormigón permeable permitiendo que el agua lluvia pase gracias a la porosidad que este presenta y que a la vez esta agua sea recolectada y aprovechada para usos no domésticos donde no sea necesario que el agua sea potable, favoreciendo al manejo responsable del recurso. El hormigón permeable al ser un hormigón no estructural, posee baja resistencia a la compresión, sin embargo, el estudio realizado cumple con las condiciones necesarias para usarlos en zonas de tránsito peatonal con resistencias que varían entre 14 MPa y 18 MPa, dando como prioridad al aprovechamiento de aguas lluvias, reduciendo de cierta manera la demanda hídrica de este recurso natural limitado a nivel mundial. La idea es diseñar un sistema de recolección de Agua Lluvia sostenible, que se aplicable de manera técnica y viable en lugares de tráfico ligero, convirtiéndose en una alternativa factible, para poder usarla rutinariamente.

**Palabras Clave:** hormigón permeable (Hp)/demanda hídrica/agua lluvia (All)/relación agua cemento (A/C).

**Abstract-** In recent years we have seen the need to develop new methods or construction techniques that reduce the impact on our environment, for this reason there is a constant search for organic products or at least sustainable alternatives. Among the developments of sustainable construction is permeable concrete, which allows the management of rainwater, the same that infiltrates through this concrete. Therefore, in the present investigation, we seek to focus on the design of a permeable transport system that provides water and that is not lost at the same time or to the water source. Drinking water, favoring the responsible management of the resource. Permeable concrete, being a non-structural concrete, has low resistance to compression,

however, the study complies with the necessary conditions to be used in pedestrian traffic zones with resistances that vary between 14 MPa and 18 MPa, giving priority to the use of rainwater, thus reducing the water demand of this limited natural resource worldwide. The idea is to design a sustainable rainwater collection system, which is technically and feasibly applied in places of light traffic, becoming a feasible alternative, to be used routinely.

**Keywords:** permeable concrete (Pc)/water demand/water rain (Wr)/cement water relationship (W/C).

## I. INTRODUCCIÓN

**E**l estudio del hormigón permeable a manera de estudios de pregrado no es algo nuevo, sin embargo, algunos estudios lo catalogan como una alternativa de construcción frente al problema de inundaciones, el agotamiento de mantos y escasez de agua. (Cabello et al., 2015). Por ejemplo en Colombia, (Benites, 2014) en su investigación ha determinado las características del hormigón permeable, en México se ha construido estos hormigones para la recarga de los acuíferos. (Benites, 2014) menciona que en Perú las ciudades de la sierra tienen continuos problemas de inundaciones.

Hoy en día el desarrollo urbano aumenta cada vez más y esto hace que las zonas verdes vayan disminuyendo lo cual genera un problema según lo establece los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible de Colombia) ya que son aquellas las que permiten el paso de agua lluvia sin inconvenientes, a diferencia de las obras de drenaje vial como los sumideros, mismas que si no se toma en cuenta factores importantes como son la localización y el diseño, estos interfieren en su correcto funcionamiento. Entonces al disminuir la cobertura vegetal se están creando ciudades impermeables, que se vuelven vulnerables en grandes épocas de lluvia, teniendo como resultado el colapso de las alcantarillas e inundaciones indeseables y prácticamente agua lluvia desperdiciada sin ningún fin o uso aprovechable, tratándola al final como agua residual.

Según (Jumbo y Quiroz, 2019), mencionan que en el Ecuador actualmente existe la presencia de estaciones invernales muy concurrentes, en donde a causa de este fenómeno natural, se ha evidenciado, el deterioro del pavimento, casas destruidas, colapso del

**Author a:** MSc. Docente – Investigador, Carrera Ingeniería Civil UCE.  
e-mails: jmoya@uce.edu.ec, juancmoya4@gmail.com

**Author a:** MSc. Docente – Investigador, Carrera Ingeniería Civil UCE.  
e-mail: jgutierrez@uce.edu.ec

**Author p:** Estudiante – Investigador, Carrera Ingeniería Civil UCE.  
e-mail: mbmarroquin@uce.edu.ec

**Author G2:** Estudiante – Investigador, Carrera Ingeniería Civil UCE.  
e-mail: jtreyo@uce.edu.ec



sistema de drenaje pluvial, deslaves e inundaciones, causando pérdidas físicas, estructurales y económicas. Por tal motivo se busca soluciones amigables con el ambiente, que ayuden a mitigar todos estos desastres naturales y según (Cadenas et al, 2017), es el hormigón permeable una de las soluciones frente a las inundaciones causadas por el agua lluvia.

Debido a la permeabilidad que presenta el hormigón, el agua lluvia infiltra por este, lo cual permite en cierta parte controlar problemas de formación de pozas o charcos, que se desarrollan en ciclo vías, plazas, parques, canchas deportivas, estacionamientos, entre otras zonas de tráfico ligero, sin embargo el presente trabajo de titulación busca desarrollar esta alternativa como un material sustentable para el medio ambiente y satisfagan las necesidades de la sociedad. (Arango, 2018).

De las investigaciones pasadas que ha realizado (Cruz et al., 2014), con respecto al hormigón permeable, manifiesta que éste se limita a almacenar el agua directamente en el suelo, como para controlar las inundaciones o recargar los acuíferos, cuya funcionalidad no es el objetivo de esta investigación, sino que a su vez se pueda aprovechar esta situación recolectando dicha agua para usos donde no se requiere agua potable para consumo.

Para mitigar el problema del agua lluvia desperdiciada, se plantea la inquietud del uso de áreas no estructurales de hormigón permeable como sistemas de recolección de agua lluvia, con el fin de cambiar el concepto de que la lluvia no tiene importancia en las zonas urbanas, para recolectar importantes volúmenes de agua, disminuyendo así el coeficiente de escorrentía superficial.

Construcciones sustentables es lo que se requiere en el país, sobre todo por su impulso hacia la investigación y análisis, mismos que permitirán profundizar el estudio y manejo correcto del agua. Para ello es necesario el diseño de un hormigón especial con características similares al hormigón convencional, pero que cumpla con dos parámetros importantes para que pueda ser una alternativa factible; el primer parámetro es el de resistencia para soportar cargas de tráfico ligero y el segundo es el de la permeabilidad, permitiendo filtrar cierta cantidad de agua lluvia y a su vez con opción para almacenarla, si se dimensiona un tanque recolector debajo de la estructura permeable.

## II. METODOLOGÍA

El hormigón permeable conocido también como hormigón poroso, se encuentra principalmente compuesto por agregado grueso, cemento, agua y cierta porción de agregado fino. Combinando estos materiales resulta una capa endurecida con varios espacios vacíos en su interior, por el cual se infiltra el agua que atraviesa su estructura. Los investigadores

como (Hernández y Martínez, 2014) definen al hormigón permeable para su empleo en pavimentos, como una composición de materiales y técnicas que permitan a partir de su estructura, la circulación de las aguas pluviales, reduciendo la escorrentía y atrapando en si los sólidos en suspensión y filtros de contaminantes del agua.

Con relación a las ventajas y desventajas de los hormigones permeables, investigadores e instituciones como el American Concrete Institute (ACI) en su comité 522 (ACI, 2010), (Aoki, 2009), entre otros, establecen algunas de estas; teniendo entre las más relevantes las que se muestran a continuación:

a) *Ventajas*

- Control de Inundaciones
- Recarga de Acuíferos
- Es una técnica sustentable
- Reduce el colapso del sistema de drenaje pluvial
- Permite la reutilización del agua lluvia
- Ayuda de cierto modo con el ahorro de agua Potable, si se aprovecha su característica de permeabilidad y se dimensiona un tanque recolector de agua, bajo la estructura.
- Se reduce el tamaño de las alcantarillas
- Controlar la contaminación que arrastra la corriente en las aguas lluvias.
- Controla la escorrentía de aguas lluvias.
- Reduce el deslizamiento sobre la superficie de caminos y carreteras.

b) *Desventajas*

- La Resistencia frente a la compresión es baja.
- Tiene una trabajabilidad pobre.
- Por lo general son hormigones para tráfico ligero.
- No se recomienda en zonas de muy bajas temperaturas por las heladas que se suelen presentar, donde resultaría que los poros del hormigón se sean vean afectados o dicho de otras maneras obstruidas.
- Se vuelve poco operacional frente a torrenciales lluvias acompañadas con granizos.
- Alta vulnerabilidad a taponamientos causados por deslaves con grandes arrastres impurezas y sedimentos orgánicos.
- Sensibilidad al contenido de agua ya que es muy sensible a la cantidad que se utilice.
- Mayor frecuencia de mantenimiento y limpieza para evitar que los vacíos del hormigón se tapen y la permeabilidad del mismo se pierda.

c) *Componentes*

Básicamente los materiales a utilizar en un hormigón permeable son similares a los de un hormigón convencional (Agua, cemento, agregado grueso, agregado fino y aditivo si se requiere el caso), con la diferencia de que tanto el cemento como el

agregado fino se los añade en mínimas cantidades, las mismas que se encuentran regidos bajo la norma ACI 522R-10.

#### d) Proceso Experimental

Para lograr que el hormigón tenga características de permeabilidad, se basa en la normativa internacional del ACI 522-R10, misma que muestra ciertos parámetros iniciales muy importantes a tomar en cuenta para escoger los áridos a usar. Los materiales utilizados fueron:

- Agregado Grueso, granulometría No. 8 – Pifo, Holcim.
- Agregado Fino – Pifo, Holcim.
- Hormigón Holcim GU.

Ya con los materiales idóneos, se empezó la caracterización de cada uno de los materiales constituyentes del Hormigón, basándose siempre en las normas establecidas. Una vez determinadas las propiedades respectivas, se utilizó el método por volúmenes absolutos ( $b/b_0$ ) detallado en la normativa ACI 522-R10.

Se desarrolló varias dosificaciones de prueba, tomando en cuenta un porcentaje de pasta de cemento del 25% y jugando con los distintos parámetros que pueden afectar o mejorar las propiedades en estado endurecido del mismo. A las 6 dosificaciones de prueba realizadas se varía los siguientes parámetros claves, para analizar la influencia en su comportamiento:

- *Relación agua – cemento (a/c):* Partiendo de las recomendaciones dadas por la normativa ACI 522-R10 para sus valores máximos y mínimos, se realizaron probetas de experimentación para observar las propiedades en estado fresco que presenta y a partir de estos primeros ensayos se seleccionó los siguientes valores, mismos que poseen las mejores características buscadas para el estudio: 0.33, 0.35, 0.4 y 0.46.
- *Porcentaje de finos:* de acuerdo a la normativa se recomienda usar de 0%, 10% y 20%, pero solo se selecciona los valores que mejoren la adherencia entre las partículas que constituyen al hormigón, por lo que los valores usados para la experimentación son: 10% y 20%.

Tabla 1: Tabla de Dosisificaciones prueba realizadas

Nº	A/C	$b/b_0$	% Vacíos Contenidos	%fino	Tamaño Agregado Grueso
1	0.35	0.85	20,00	20	3/8
2	0.40	0.85	20,00	20	3/8
3	0.35	0.93	10,00	20	#8
4	0.46	0.93	10,00	20	#8
5	0.33	0.85	10,00	10	#8
6	0.33	0.85	10,00	20	#8

#### e) Resistencia a Compresión Simple

A fin de verificar el comportamiento mecánico (resistencia a compresión y flexión) e

hidráulico (permeabilidad), de cada una de las dosificaciones de prueba, se puede elegir la mejor dosificación, se toma muestras en probetas cilíndricas siguiendo las especificaciones del ASTM C-31-17/NTE INEN 1576, la cual menciona que se posee un número mínimo de especímenes a fabricar para las diferentes pruebas, considerando una cantidad mínima de 3 probetas, sin embargo la normativa ASTM C39-17/NTE INEN 1573 indica que la aceptación de variación del promedio de resultados es de un 9% para dos probetas, y una variación de 10.6% para tres probetas, dando a entender que al realizar una mayor cantidad de probetas, esta aceptación de variación aumenta siendo directamente proporcional, por lo que se decide incrementar dicho promedio de aceptación de resultados, por lo que se decide confeccionar 5 especímenes (D: 10cm y h: 20cm) por cada día de ensayo (7, 14 y 28 días).

(Meininger, 1988), proyecta en la Figura 2-9 la resistencia a la compresión del hormigón permeable según su contenido de vacíos, en donde se puede observar que, a mayor contenido de vacíos, menor es su resistencia y viceversa.

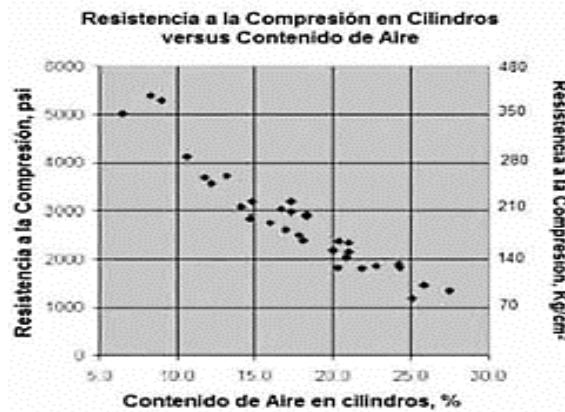


Figura 1: Gráfico de la resistencia a la compresión versus contenido de aire en especímenes de concreto permeable

#### f) Resistencia a Flexión

Ya con la dosificación final se procedió a realizar 5 vigas (L: 60cm, h: 15cm, b: 15cm) de hormigón a fin de determinar y comprobar su resistencia a la flexión, siguiendo la normativa ASTM C39-17/NTE INEN 1573.

Esto se lo analiza debido a que los pavimentos de hormigón trabajan principalmente a flexión se recomienda que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del hormigón permeable trabajando a flexión, la cual es conocida también como Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días. Para determinar el módulo de rotura se debe analizar la posición de la falla y de acuerdo a eso se calcula con lo establecido en NTE INEN 2554 (2011).

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (\text{dentro del tercio medio}) \quad \text{Ec. (1)}$$

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (\text{fuera del tercio medio}) \quad \text{Ec. (2)}$$

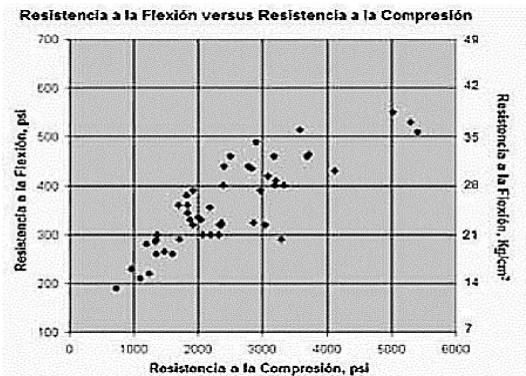


Figura 2: Gráfico de resistencia a la flexión versus resistencia a la compresión

#### g) Permeabilidad

La capacidad que tiene el hormigón permeable para permitir el paso del agua sin dificultad y sin alterar su estructura. Esta permeabilidad, también es conocida como la percolación. La normativa ACI 522R-10 presenta en la gráfica mostrada en la Figura 2-11 los valores propuestos por (Meininger, 1988), con el fin de poder definir si los resultados obtenidos son coherentes.

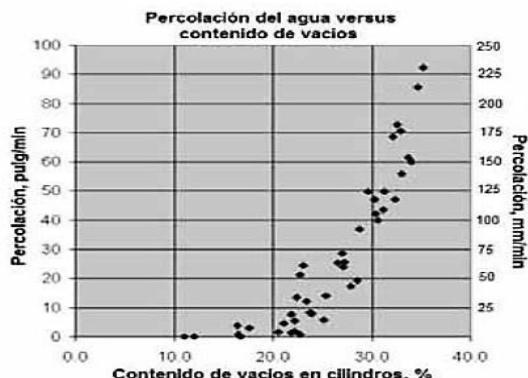


Figura 3: Gráfica de percolación versus contenido de vacíos en cilindros

Para el ensayo de permeabilidad se elaboró 3 especímenes por dosificación, debido a la dificultad con la que se ensayan las mismas, el equipo para ensayar y la variación de los diámetros de los cilindros. Estas muestras son ensayadas mediante el permeámetro a la edad de 28 días.

El permeámetro de carga variable, fue fabricado de forma artesanal con acrílico, tuberías PVC y sus respectivos accesorios, siguiendo las

indicaciones del comité ACI 522-R10, adoptándolas de manera que se pueda medir la capacidad de filtración que poseen las probetas fabricadas.

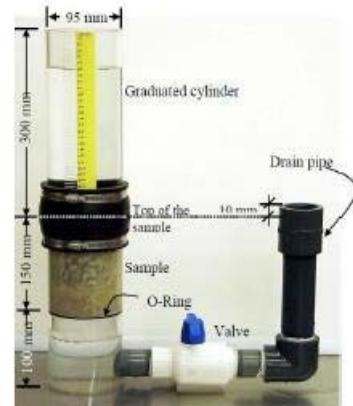


Figura 4: Permeámetro de carga variable

Usando la siguiente fórmula descrita para calcular la permeabilidad de la probeta en mm/s ( $k$ ), utilizando los aspectos referentes al área del tubo en  $\text{mm}^2(A_1)$ , el área de la probeta en  $\text{mm}^2(A_2)$ , la longitud de la probeta ( $L$ ), carga de agua en la marca 1 ( $h_1$ ), carga de agua en la marca 2 ( $h_2$ ), tomado el tiempo que tarda en bajar desde la primera marca, hasta la segunda ( $t$ ).

$$k = \frac{A_1 * L}{A_2 * t} * \log\left(\frac{h_2}{h_1}\right) \quad \text{Ec. (3)}$$

#### h) Infiltración

Se lo define como cantidad de agua que pasa a través de la superficie permeable y por lo general este tipo de pruebas se realiza en campo, mientras que la permeabilidad es la velocidad del agua que a traviesa por el hormigón.

El coeficiente de infiltración (CI), el cual es calculado por la Ec.4.

$$CI = \frac{Q_{\text{entrada}}}{Q_{\text{salida}}} \quad \text{Ec. (4)}$$

En el Laboratorio Hidráulica de la Universidad Central del Ecuador se procedió a efectuar el ensayo de simulación de precipitación mediante el equipo móvil simulador de lluvias elaborado por (Galarza y Manosalvas, 2018), de manera que se puede simular diversas intensidades de lluvias dentro del laboratorio, con la finalidad de analizar el caudal de agua que pasa por el hormigón permeable y a su vez determinar la cantidad de volumen de agua que se recolectó para diferentes tiempos e intensidades.

En el equipo móvil simulador de lluvia se le adoptó una losa de hormigón permeable de 117 cm largo, 98cm de ancho y 8cm de espesor. Para la fabricación de la losa se utilizó varias palas, un rastrillo y un rodillo, precautelando en todo el momento que no se pierda en exceso la cantidad de agua, por los agentes externos. Una vez fabricada la losa, se procedió a curarla por 28 días, a fin de que este obtenga la resistencia especificada.



Figura 5: Equipo Móvil Simulador de Lluvia (EMSL)

Para calibrar el equipo simulador de lluvias se utilizaron diferentes intensidades de precipitación, se tomó aquellas registradas a nivel Nacional dependiendo de la duración de los mismos, en un período de retorno 10 años según la propuesta de (MINVU, 1996), donde se considera este período si aguas debajo de la misma no existe una red de drenaje bien desarrollada. Se obtienen las curvas IDF proporcionadas por el INAMHI para el período buscado.

Las experimentaciones realizadas entregan relaciones empíricas entre la precipitación, que es el dato de entrada, y la infiltración, que es el dato de salida. (Galarza y Manosalvas, 2018).

Se realizó varios ensayos para diferentes estados de humedad y diferentes intensidades registradas en el Ecuador (Tabla 2), con duración de 5 y 15 minutos, que es el tiempo donde se presenta la intensidad máxima.

Tabla 2: Intensidades máximas registradas por INAMHI-Ecuador

Duración min	Intensidad mm/h	Estación	Nombre
5	123.8	M0024	ÍÑAQUITO
5	197.4	M0037	MILAGRO - INGENIO
15	81.5	M0024	ÍÑAQUITO
15	139.8	M0051	BABAHOYO

#### i) Estructura de Recolección de Agua Lluvia

Lo ideal es que la lluvia se infiltre nuevamente al subsuelo, o esto pueda aprovecharse en espacios de uso peatonal, tales como parques, aceras, canchas, plazas, entre otros. Ayudando con la recarga de acuíferos, reduciendo el encharcamiento y las posibles inundaciones.

Se toma en cuenta que la estructura permeable debe cumplir la función de percolación del agua recolectada hasta un punto de almacenamiento, esta estructura será diseñada a manera de subdrén. (Figura 6).



Figura 6: Esquema de una Estructura Permeable

Los subdrenes de zanja pueden construirse de manera paralela entre ellas, aunque es complejo, presenta una gran efectividad, generando cambios importantes en la estructura de los suelos.

### III. RESULTADOS

En un hormigón permeable, se presentan 3 propiedades importantes; la resistencia a compresión simple, la resistencia a flexión y la permeabilidad, cuyos resultados deben ser analizados de manera adecuada, donde se cumpla con una resistencia apta para el uso planteado (peatonal), sin perder su característica propia de permeabilidad para el aprovechamiento el agua lluvia.

#### a) Resistencia a compresión simple

Los resultados de cada una de las dosificaciones indicadas en la Tabla 3, muestran la facilidad con la que puede cambiar la resistencia a compresión según el tamaño del árido grueso usado, el porcentaje de finos utilizados y la relación a/c que debe ser lo más baja posible para garantizar un buen desempeño del mismo.

El hormigón permeable al ser usado para superficies peatonales se lo considera como un hormigón no estructural y debe cumplir con una resistencia a compresión simple entre un rango de 14 y 18 Mpa, ya que se expone a cargas de tráfico ligero, cuyos valores referenciales están dispuestos por el MOP (2002) en su tabla 801-1.1.

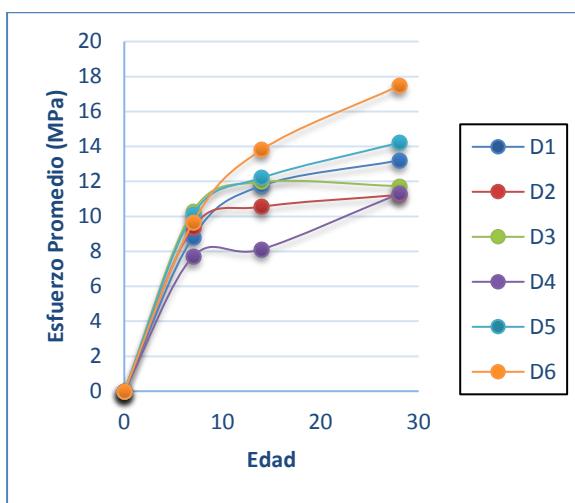


**Tabla 3:** Resultados a compresión y permeabilidad

Dosificación	Edad	A/C	% Finos	Resistencia A Compresión		Permeabilidad			
				Días	-	MPa	mm/s	mm/min	
1	28	0.35	20	13.2	3.68	220.77			
2	28	0.4	20	11.23	3.47	208.26			
3	28	0.35	20	11.73	0.55	32.74			
4	28	0.46	20	11.3	1.11	66.67			
5	28	0.33	10	14.21	1.43	85.57			
6	28	0.33	20	17.47	1.09	65.55			

Las primeras dosificaciones (D1 Y D2) corresponden a un solo tamaño nominal (Tamaño 3/8"), asumiendo que al ser una mezcla mal graduada se obtendrá una mayor permeabilidad, sin embargo, en la Tabla 3 se puede observar que la resistencia resultante de estas dosificaciones es menor a la requerida, por lo que se descartan los resultados, esto se debe a que el hormigón necesita una buena graduación para garantizar una adecuada adherencia entre sus componentes.

En cuanto a las dosificaciones D3 y D4, ya se usa una mezcla bien graduada (Nº 8), donde se mejora notablemente en su adherencia y trabajabilidad, aumentando así el valor a la resistencia a compresión simple. En la dosificación 5 y 6 se usa la misma mezcla bien graduada y se observa que presentan mayor esfuerzo a compresión simple con resultados de 14.21 MPa y 17.47 MPa respectivamente; mismos que cumplen con el diseño establecido para este tipo de hormigones según su uso planteado (peatonal).

**Figura 7:** Esfuerzo vs Edad de las 6 mezclas realizadas

En la Figura 7 se puede observar que la evolución de la resistencia de la D6 vs la edad, tiene un aumento progresivo en cuanto a su esfuerzo a compresión, esto se da por una consistencia adecuada, donde a pesar de ser una mezcla seca con asentamiento casi nulo, no presentó ni segregación ni

exudación, por lo cual es ideal para este tipo de hormigones y las condiciones del lugar resultó ser de 0.33, en donde a menor a/c mayor resistencia se obtuvo, siempre y cuando el % de finos utilizados sea mayor al 10%. También es importante recalcar que el método de compactación influye mucho en su resistencia final.

#### b) Resistencia a Flexión

La resistencia a la flexión de un hormigón es baja en comparación con su resistencia a la compresión, sin embargo se utiliza para determinar el Módulo de Rotura de diseño para el control de campo y aceptación de pavimentos. En este diseño se obtiene un módulo de rotura de 4.59 Mpa (Tabla 4) que corresponde a un 26.27% de la resistencia a compresión simple de la dosificación 6. Este valor se encuentra superior a los valores presentados en tracción en estudios anteriores, cuyos valores oscilan entre los 1 a 3.8 Mpa.

El resultado final nos proporciona una idea de la resistencia a flexión que tendrá este hormigón, ya que al ser superficies peatonales el hormigón tiende a estar expuesto a los esfuerzos de expansión y retracción, al aumentar o disminuir la temperatura.

**Tabla 4:** Resultados del ensayo a flexión para la mezcla definitiva

Edad	Base (B)	Altura (D)	Luz (L)	Carga	Módulo De Rotura	
					días	cm
28	15.00	15.00	55.00	2490	40.58	3.98
	15.00	14.80	55.00	2830	47.37	4.65
	14.80	15.00	55.00	2790	46.08	4.52
<b>PROMEDIO</b>						<b>4.59</b>

#### c) Permeabilidad

Los resultados de la permeabilidad inciden mucho en la velocidad con la que atravesie el agua por la estructura de hormigón. Por lo tanto se debe tener una permeabilidad adecuada, donde permita que el agua lluvia fluya por el hormigón pero a su vez que no pierda su característica de resistencia a la compresión.

En la Figura 8 claramente se puede observar que las dos primeras dosificaciones correspondientes a una mala graduación, poseen la mayor permeabilidad por la presencia de sus múltiples vacíos. Sin embargo, la dosificación D1 muestra que tiene mayor permeabilidad, lo cual se debe a que esta mezcla resultó tener una consistencia más seca que la D2, permitiendo al hormigón poseer una mayor cantidad de poros.

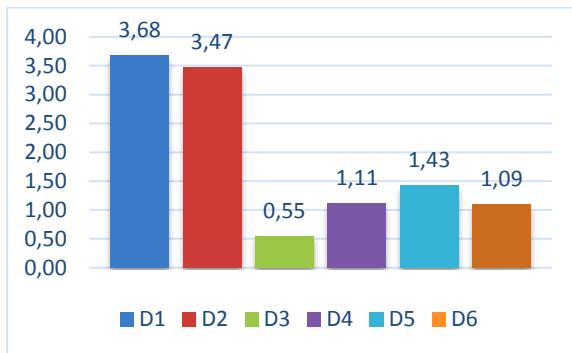


Figura 8: Permeabilidad obtenida (mm/s)

La dosificación D3 posee la menor de las permeabilidades ya que se usó el vibrador mecánico de probetas, donde al vibrar demasiado el cilindro resultó que pierda sus poros o vacíos característico de este tipo de hormigones, por lo que nos muestra que este hormigón debe seguir totalmente los lineamientos del ACI 522, donde menciona que se debe evitar el uso de vibradores, para conseguir que el hormigón tenga las características deseadas.

Las ultimas dosificaciones (D4, D5 y D6) poseen una permeabilidad media en comparación al resto de los resultados, sin embargo se debe tener claro que prevalece el criterio de que un hormigón expuesto al intemperie debe poseer la mayor resistencia que pueda alcanzar, siendo esta vulnerable a la presencia de diversas cargas presentadas diariamente, por tal motivo la dosificación ya establecida para diseño final de un hormigón permeable es la dosificación 6 (D6), por poseer la mayor resistencia y una permeabilidad que se encuentra dentro de un rango medio.

#### d) Infiltración

La capacidad de este hormigón por metro cuadrado dependiendo de cada una de las intensidades y el estado de humedad se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 5: Caudal captado por cada metro cuadrado, dependiendo de la intensidad de lluvia presentada y su estado de humedad

Duración (min)	Intensidad(mm/h)	Caudal (l/min)
<b>ESTADO SECO</b>		
5	123,800	1,200
5	197,400	2,000
15	81,500	0,867
15	139,800	1,467

<b>ESTADO HÚMEDO</b>		
5	123,800	1,400
5	197,400	2,400
15	81,500	0,933
15	139,800	1,600
<b>ESTADO SATURADO</b>		
5	123,800	1,800
5	197,400	2,500
15	81,500	1,200
16	139,800	1,800

Esto demuestra que el volumen recolectado de agua después de cada ensayo mejora conforme la superficie se encuentre con mayor humedad. Lo mismo se puede comprobar a través del coeficiente de infiltración, los resultados se los presenta en las tablas, 6, 7 y 8.

Tabla 6: Coeficiente de Infiltración para losa seca

Duración	Intensidad	Caudal de Entrada	Caudal de Salida	Coeficiente de Infiltración
min	mm/h	l/min	l/min	
5	123,800	2,404	1,376	0,572
5	197,400	3,732	2,293	0,614
15	81,500	1,569	0,994	0,633
15	139,800	2,644	1,682	0,636
<b>PROMEDIO</b>				<b>0,614</b>

Tabla 7: Coeficiente de Infiltración para losa Húmeda

Duración	Intensidad	Caudal de Entrada	Caudal de Salida	Coeficiente de Infiltración
min	mm/h	l/min	l/min	
5	123,800	2,384	1,605	0,673
5	197,400	3,866	2,752	0,712
15	81,500	1,563	1,070	0,685
15	139,800	2,647	1,835	0,693
<b>PROMEDIO</b>				<b>0,691</b>

Tabla 8: Coeficiente de Infiltración para losa saturada

Duración	Intensidad	Caudal de Entrada	Caudal de Salida	Coeficiente de Infiltración
Min	mm/h	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	
5	123,800	2,376	2,064	0,869
5	197,400	3,320	2,867	0,863
15	81,500	1,565	1,376	0,879
15	139,800	2,359	2,064	0,875
<b>PROMEDIO</b>				<b>0,870</b>

Los resultados de Infiltración dados, no son comparables con los resultados de permeabilidad Tabla 3, ya que la permeabilidad es la velocidad del agua que, a traviesa por el hormigón, mientras que la infiltración se refiere a la cantidad de agua que pasa a través de la superficie permeable.

#### e) Estructura de Recolección de Agua Lluvia

La estructura de recolección de agua se encuentra planteada como un sistema compuesto por la losa permeable, el estrato permeable y las tuberías de conducción (tubería perforada). Para este tipo de hormigón el acero de refuerzo se descarta, ya que por el hecho de que ingresa el agua a la estructura, el acero con el pasar del tiempo tiende a correrse.

El hormigón de la losa se encuentra diseñado conforme a sus parámetros de permeabilidad y resistencia a la compresión más aplicable, para este caso se realizó una losa de 8cm y estrato granular de 15cm.

La tubería de conducción debe ser perforada, de tal manera que permita fácilmente, el ingreso del caudal a captar. Para ello se tomó como dato inicial el mayor caudal de salida por ser el más crítico, y se procedió a calcular su diámetro, su N° orificios y a su vez determinar el rango de aceptación de velocidad máxima y mínima, para evitar erosión y sedimentación respectivamente. Sus resultados se presentan en la Tabla 9:

Tabla 9: Diámetro de la Tubería de Conducción de Flujo

Estado de Huemeda	Duración	Intensidad	Caudal de Salida	Diámetro de Flujo	Velocidad MÁXIMA	Rango de Aceptación	No. Orificios
	min	mm/h	l/min	mm	m/s	5 m/s - 0.3 m/s	
Saturado	5	123.8	2.867	21.929	m/s	MÓDICO	MÍNIMO
Comercial:				50	0.33	OK	OK
							10

#### f) Análisis económico

A manera de tener una idea del ahorro del agua potable que se tendría si se usa el agua lluvia recolectada para usos donde no se requiere consumo directo humano, como es en la descarga de los inodoros, en el riego de jardines, en el lavado de pisos, para el control de polvo, entre otros, se realiza un análisis típico de consumo y pago mensual (Tabla 10) de una familia típica compuesta por 4 personas, equivalente al 20.4% de la población.

Tabla 10: Consumo típico para una familia de 4 personas

CONSUMO	ÍTEM	L/hab.d	SUMA	CONSUMO MENSUAL EN LITROS	CONSUMO MENSUAL L/M3	PAGO MENSUAL L/M3
DOMÉSTICO	Aseo personal	40				
	Descarga de sanitarios	35				
	Lavado de ropa	10				
	Cocina	10				
	Riego Jardines	40				
	Lavado de pisos	5				
	Control de Polvo	10				
			150.0	18000.0	18.000	7.74

La Tabla 11, en cambio es similar a la anterior, pero muestra el consumo y pago mensual si ya no se utilizaría el agua potable para usos donde no es necesaria la misma, por ello se observa el valor nulo en los ítems proporcionados en la siguiente tabla:

Tabla 11: Consumo proyectado para una familia de 4 personas (20.4% población)

CONSUMO	ÍTEM	L/hab.d	SUMA	CONSUMO MENSUAL EN LITROS	CONSUMO MENSUAL L/M3	PAGO MENSUAL L/M3
DOMÉSTICO	Aseo personal	40				
	Descarga de sanitarios	0				
	Lavado de ropa	10				
	Cocina	10				
	Riego Jardines	0				
	Lavado de pisos	0				
	Control de Polvo	0				
			60.0	7200.0	7.2	3.10

Con este análisis rápido del consumo mensual del agua potable, se puede tener un estimado del ahorro que se tendría en la tarifa mensual de la planilla del Agua potable (Tabla 11), si se utilizaría este tipo de hormigón en las superficies peatonales donde permite la recolección de agua lluvia.

Cabe recalcar que el valor presentado en la Tabla 12, correspondiente al pago mensual, solo corresponde al consumo, mas no a la implementación de toda la estructura en sí, ya que para ello se debe tener en cuenta, el tanque recolector y un cierto tipo de bombeo.

Tabla 12: Ahorro proyectado para una familia de 4 personas

TIPO DE CONSUMO PERSONAL	CONSUMO MENSUAL L/fam	PAGO MENSUAL L/fam	CONSUMO ANUAL L/fam	PAGO ANUAL L/fam
DOMÉSTICO COMÚN	18000.00	\$ 7.74	216000	\$ 92.88
DOMÉSTICO PROYECTADO	7200.00	\$ 2.52	86400	\$ 30.24
AHORRO	10800.00	\$ 5.22	129600	\$ 62.64

## IV. CONCLUSIONES

Las investigaciones en el campo del hormigón permeable son diversas, sin embargo, se ha encontrado pocos estudios como alternativa de recolección y aprovechamiento de agua lluvia, siendo esto novedoso en Ecuador, donde se puede optimizar el recurso agua si se diseña un tanque recolector bajo

la misma y a si utilizar el agua recolectada en usos no doméstico, ahorrando de cierta manera el agua potable, misma que genera una reducción económica de \$5.22 en su tarifa de consumo mensual.

La relación agua – cemento, el porcentaje de finos y el contenido de cemento son parámetros que inciden en la resistencia final del hormigón, así como también una correcta manipulación al momento de elaborarlo, dado que la homogeneidad que debe presentar este tipo de hormigones debe ser suficiente para generar una correcta adherencia.

A través del modelo EMSL, se puede ensayar la intensidad más alta que posee el Ecuador de acuerdo a los registros del INAMHI, se observa que el hormigón permeable se comporta de manera satisfactoria, permitiendo ingresar un caudal de 2 litros/minuto por cada metro cuadrado de losa existente, contando esto solamente en estado seco. Mientras que en estado húmedo le corresponde un caudal de 2.4 litros/minuto y 2.84 litros/minuto para una losa saturada. Demostrando la capacidad que a mayor saturación de la losa, mayor caudal ingresa.

Al simular la lluvia en diferentes estados de humedad, se observa el comportamiento del hormigón permeable, es por eso que cuando la losa se encuentra en estado seco, se va verificando cómo cada una de las gotas de agua comienzan a humedecer la losa de hormigón, misma que permite su paso hasta un 61% del agua que ingresa; cuando esta se encuentra húmeda, permite hasta un 69% de paso de agua, y un 87% cuando se encuentra más humedecida, permitiendo así observar que el caudal que pasa por la losa aumenta a medida que esta se humedece, debido a que mientras más se humedecen las partículas pertenecientes al hormigón, la estructura comienza a funcionar como sumidero, ya que permite el paso libre de las partículas de agua.

En el equipo móvil simulador de lluvia se pudo apreciar que la precipitación no pudo saturar por completo a la losa, ya que debajo de esta no se encuentra una capa de suelo, de manera que el movimiento del agua va a ser continúo actuando a manera de sumidero, descartando la posibilidad de una medición de la escorrentía superficial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACI Committee 522. (2010). Pervious Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
2. CABELLO, S., Zapata, P., Pardo, A., Romo, A., Campuzano, L., Espinoza, J., Sánchez, C. (2015). Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización. Revista CUMBRES. Volumen 1(1), págs. 64-69.
3. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES. (MOP). (2002). Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Ecuador.
4. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES. (2011) Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Perú.
5. NEITHALATH, N., Weiss, J., & Olek, J. (2006). Predicting the Permeability of Pervious Concrete (Enhanced Porosity Concrete) from Non-Destructive Electrical Measurements.
6. NÚÑEZ, F. (2015). Fabricación de hormigón permeable para canchas de uso múltiple con la utilización de agregados de la provincia de pichincha (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito – Ecuador.
7. NTE INEN (2010). NTE INEN 1573:2010 Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico. Recuperado de: <http://181.112.149.204/buzon/normas/1573.pdf>.
8. NTE INEN (2011). NTE INEN 1576:2011 Hormigón de Cemento Hidráulico. Elaboración y Curado en Obra de Especímenes para Ensayo. Recuperado de: <http://181.112.149.204/buzon/normas/1576.pdf>
9. INAMHI. (2015). Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación. Quito.
10. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVÍAS). (2009). Manual de drenaje para carreteras. Colombia.
11. SANTOS, I. (2014). Diseño de mezclas de hormigón permeable para emplearlo en proyectos urbanísticos de interés social (tesis de pregrado). Universidad de Especialidades Espíritu Santo. Guayaquil – Ecuador.

